

Sains Malaysiana 42(5)(2013): 579–586

Analisis Potensi Kebakaran Hutan Menggunakan Teknik Georuang dan Permodelan AHP di Selangor, Malaysia

(Analysis of Potential Forest Fires by Utilizing Geospatial and AHP Model in Selangor, Malaysia)

MOHD DINI HAIRI SULIMAN & MASTURA MAHMUD*

ABSTRAK

Kejadian kebakaran hutan yang memberikan implikasi negatif terhadap ekosistem hutan, kepelbagaian biologi, kualiti udara dan struktur tanah dapat dikurangkan melalui sistem pengurusan bencana yang berkesan. Mekanisme pengurusan bencana dapat dibangunkan melalui sistem amaran awal yang tepat serta sistem penyampaian maklumat yang cekap. Penyelidikan ini cuba memberi tumpuan kepada pemetaan potensi kebakaran hutan serta penyampaian maklumat kepada pengguna melalui aplikasi WebGIS. Teknologi georuang dan permodelan matematik digunakan bagi mengenal pasti, mengelas serta memetakan kawasan hutan yang berpotensi untuk terbakar. Permodelan model proses analitik hierarki (AHP) serta teknologi georuang yang merangkumi penderiaan jauh, sistem maklumat geografi (GIS) dan pengumpulan data lapangan secara digital telah digunakan untuk negeri Selangor. AHP adalah suatu teknik yang dapat memodel sesuatu keputusan yang meliputi objektif menyeluruh, dalam kajian ini untuk mencari kawasan yang berpotensi berlakunya kebakaran hutan. Tiga kriteria iaitu bahan bakar, bentuk topografi dan faktor manusia telah dipilih untuk membina satu reka bentuk hierarki berstruktur yang setiapnya diberikan pemberat. Kemudian hierarki ini dianalisis melalui satu siri perbandingan berpasangan yang diproses secara matematik dan keutamaan diberikan kepada kedudukan yang tinggi untuk mencapai hasil sumbangan pakar yang terlibat secara langsung dengan operasi pemadaman kebakaran hutan yang terdiri daripada pegawai Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia juga dinilai dalam model ini. Hasil kajian mendapati 65% daripada keseluruhan Selangor berpotensi rendah untuk terbakar sementara kawasan seluas 32.83 km persegi iaitu di Bestari Jaya, Ulu Tinggi dan Kuala Langat berpotensi melampau terbakar. Paparan maklumat melalui aplikasi WebGIS ini merupakan satu pendekatan terbaik bagi membantu proses membuat keputusan pada tahap keyakinan yang tinggi dan hampir menyamai keadaan sebenar. Agensi yang terlibat dalam pengurusan bencana seperti Jawatankuasa Pengurusan dan Bantuan Bencana (JPBB) Daerah, Negeri dan Pusat serta Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia dapat menggunakan hasil akhir kajian ini sebagai persediaan menghadapi ancaman kebakaran hutan pada masa akan datang.

Kata kunci: Peta risiko kebakaran hutan; Selangor; tanah gambut; tanah mineral

ABSTRACT

The incidences of forest fires that negatively impact the forest ecosystems, biodiversity, air quality and the soil structure can be reduced through the effective disaster management by developing an accurate early warning system. This study was focused on the mapping of the potential areas of forest fire occurrences through a WebGIS application that can relay information to the interested users. The geospatial technology and mathematical modeling were utilized to identify, classify and map the potential forest areas that are prone to fire. The analytical hierarchy process (AHP) model and the geospatial technology that consist of remote sensing, geographical information system (GIS) and digital observed field data were utilised for the state of Selangor. AHP is a technique that models a decision, which in this study includes an overall objective of finding a forest area which has the potential of forest fire occurring. Three criteria such as fuel, topography and human factors were selected to build a hierarchical structure and a weight was given to each criterion. The hierarchy was then analysed through a series of pairwise comparisons that is processed mathematically and priority is given to the highest ranking to achieve the desired result. The expert's opinions were obtained from the firemen of the Malaysian Fire and Rescue Department who were directly involved with the forest fire operations. The result from this study showed that 65% of the area in Selangor has a potentially low fire occurrence, while 32.83 km² of extremely high risk fire areas were found in places such as Bestari Jaya, Ulu Tinggi and Kuala Langat. The information displayed through the WebGIS application is one of the best ways to assist the relevant authorities make an informed decision with a high confidence as it represents an almost real situation. The various agencies involved with the disaster management operations such as the disaster committees at the district, state and federal levels and the Malaysian Fire and Rescue Department may utilise this output as a tool to alleviate the future risk of forest fires.

Keywords: Mineral soil; peat soil; risk map of forest fires; Selangor

PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan biojisim di dalam ekosistem tropika merupakan masalah alam sekitar yang utama di Asia Tenggara. Kejadian kebakaran hutan lazimnya berpunca daripada aktiviti manusia yang sengaja membakar untuk keperluan pertanian, perladangan, pembinaan perumahan serta pusat komersial. Iklim dan cuaca menjadi faktor kawalan apabila sesuatu kebakaran hutan berlaku, di samping dapat mengawal kekerapannya. Kekeringan dan kelembapan adalah parameter utama yang berkaitan dengan kejadian kebakaran hutan (Mahmud 2005, 2007). Dari bulan Mei hingga September, Semenanjung Malaysia mengalami monsun barat daya, dengan keadaan cuaca kering diiringi oleh tiupan angin membantu kebakaran hutan merebak dan sukar dikawal, terutama apabila kejadian El Nino berlaku (Mahmud 2009a; 2009b).

Kebakaran hutan yang terbesar di Semenanjung Malaysia seluas 8577 hektar dicatatkan pada bulan Februari tahun 2005 melibatkan hutan sekunder, hutan paya gambut dan ladang kelapa sawit (Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia 2005). Objektif kajian ini adalah untuk mengenal pasti kawasan yang berpotensi terbakar dengan menggunakan teknologi georuang yang terdiri daripada integrasi teknologi penderian jauh, sistem maklumat geografi (GIS), pengumpulan data secara digital dan penggunaan permodelan proses analisis hierarki (AHP). Seterusnya, maklumat kawasan yang berpotensi

berlaku kebakaran dipapar dan disampaikan kepada pengguna seperti Jawatankuasa Pengurusan Bencana serta Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia melalui aplikasi WebGIS.

Kawasan kajian yang dipilih adalah negeri Selangor kerana dari 1990 hingga 2001, Selangor mencatatkan jumlah keluasan kebakaran hutan simpan kekal terbesar di Malaysia dengan 1368 hektar yang melibatkan 11 kes. Antara punca yang dikenal pasti adalah kecuai manusia serta pembukaan tanah baru untuk pertanian, perumahan, komersial dan perindustrian (Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia 2001).

Selangor yang terletak di pantai barat Semenanjung Malaysia mempunyai keluasan 796084 hektar dan terdiri daripada 9 daerah dan 55 mukim. Antara litupan tanah Negeri Selangor adalah hutan paya gambut, ladang hutan, hutan darat, kelapa sawit, padi, getah, kopi, koko, kelapa, lalang, bekas lombong, tanah lapang, kawasan perkampungan dan kawasan perbandaran. Selangor mempunyai suhu yang seragam antara 21°C dan 32°C, kelembapan yang tinggi dan jumlah hujan tahunan sekitar 2670 mm. Hampir 181502 hektar atau 23% daripada Selangor terdiri daripada tanah gambut dan selebihnya adalah tanah mineral. Antara beberapa kawasan yang dikenal pasti selalu terbakar adalah di Bestari Jaya, Ulu Tinggi, Kuala Kubu Baharu, Kuala Langat, Banting, Dengkil dan Sepang (Rajah 1).



RAJAH 1. Lokasi kebakaran hutan di beberapa tempat di Negeri Selangor melalui titik panas daripada satelit MODIS yang dicerap pada tahun 2003, 2004 dan 2005

KAEDAH KAJIAN

Metodologi kajian ini mencakupi cerapan data GPS (Sistem Kedudukan Global) lapangan, pemprosesan imej satelit, pembangunan pangkalan data GIS, penggunaan model AHP dan pembangunan aplikasi WebGIS (Rajah 2). Sebanyak 36 titik lokasi telah dicerap bagi menilai ketepatan pengelasan peta bahan bakar yang dihasilkan daripada imej satelit Landsat-7 ETM bagi seluruh Selangor. Maklumat yang berkaitan dengan lapangan seperti nama stesen, guna tanah, jenis tanah, bahan bakar, huraian lokasi, latitud dan longitud turut dicatatkan bagi memberi gambaran yang jelas terhadap lapangan.

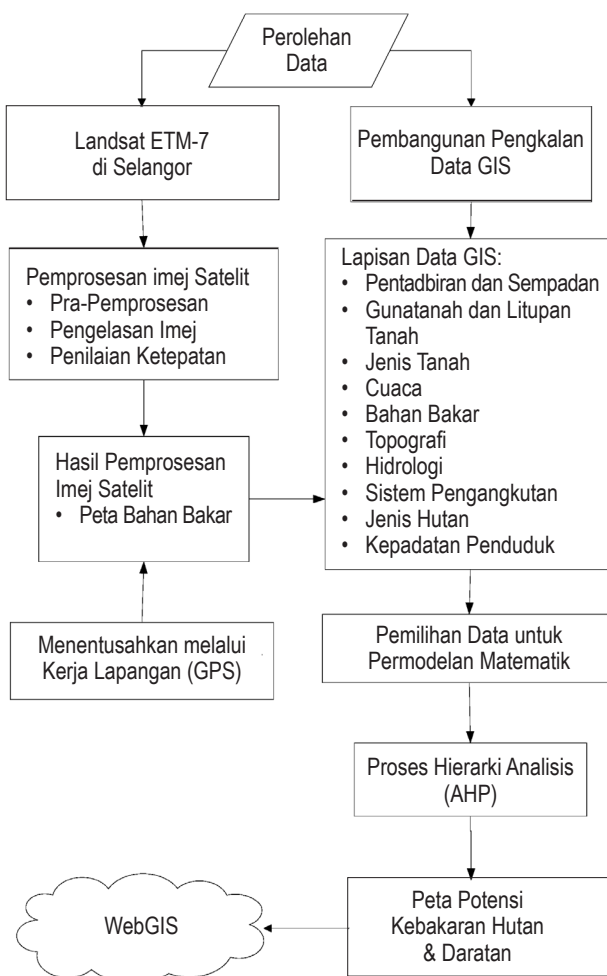
Imej satelit Landsat-7 ETM bertarikh 20 September 2001 diproses melalui tiga peringkat iaitu pra-pemprosesan dan pengelasan imej. Pembedulan geometri dan pembedulan atmosfera dilakukan untuk 23 titik kawalan bumi untuk mengira koefisien transformasi bagi imej seluruh negeri Selangor dan koordinat titik kawalan yang dirujuk adalah berdasarkan kepada peta topografi berskala 1:50,000.

Kaedah sudut kosinus kemuncak solar (COST) iaitu teknik yang menggabungkan kalibrasi radiometrik dan pembedulan atmosfera digunakan bagi mengurangkan kesan atmosfera yang disebabkan oleh proses penyerapan

dan penyerakan. Hasil daripada kaedah COST memberikan penonjolan atau diskriminasi yang jelas terhadap fitur tumbuhan, kawasan perbandaran serta kesan kebakaran hutan.

Sebanyak lapan jenis bahan bakar iaitu rumput-rumputan, limbah hutan, hutan terbuka, hutan tertutup, kelapa sawit, getah dan pertanian lain termasuk bukan bahan bakar telah dikelaskan mengikut prosedur pengelasan berpenyelia yang menggunakan algoritma Kemungkinan Maksimum. Hasil pengelasan bahan bakar tersebut digabungkan dengan peta jenis tanah dengan teknik *union* yang terdapat di dalam perisian ArcGIS yang terdiri daripada dua kelas utama iaitu tanah mineral dan tanah gambut bagi membentuk peta bahan bakar yang mengandungi enam belas jenis kelas seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1. Peta jenis bahan bakar tersebut dipaparkan melalui Rajah 3. Perbandingan peta yang terhasil melalui proses pengelasan imej dengan cerapan data GPS dalam lapangan memberikan nilai ketepatan keseluruhan sebanyak 75%. Ralat tinggalannya adalah 0.25 dan ralat berlaku adalah 0.01667.

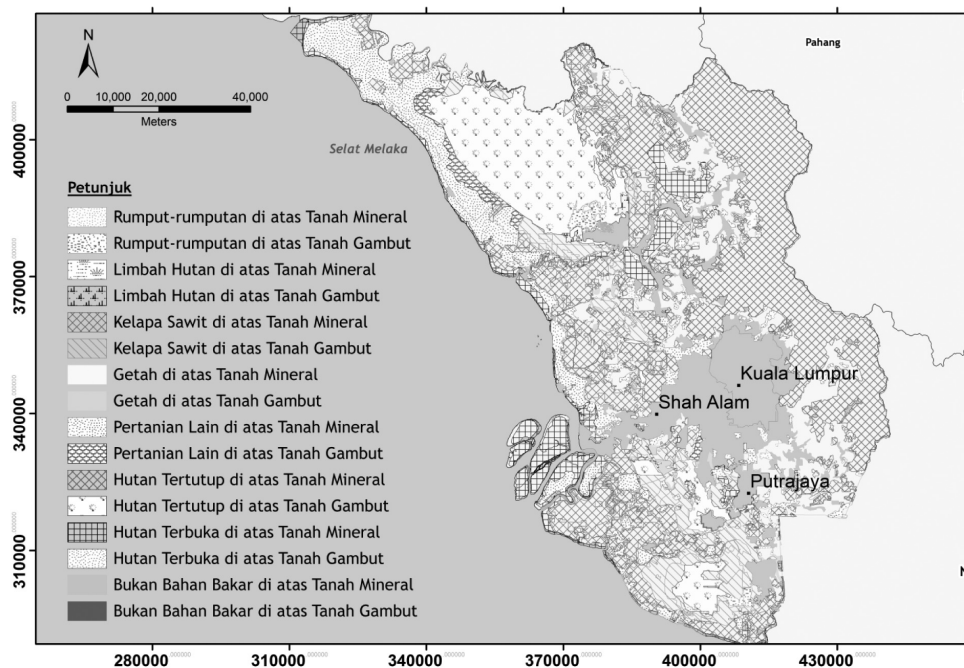
Antara sebab mengapa nilai ketepatan pengelasan ini lebih rendah daripada nilai yang biasa iaitu melebihi 85% ialah kerana data pengelasan imej Landsat ETM 7



RAJAH 2. Carta alir bagi metodologi kajian

JADUAL 1. Kriteria, sub-kriteria serta nilai penaksiran untuk bahan bakar, bentuk topografi dan faktor manusia

Kriteria	Sub-kriteria	Nilai Penaksiran Sub-kriteria
Jenis Bahan Bakar	Bahan Bakar	Rumput-rumputan di atas tanah mineral
		Rumput-rumputan di atas tanah gambut
		Bukan bahan bakar di atas tanah mineral
		Bukan bahan bakar di atas tanah gambut
		Kelapa sawit di atas tanah mineral
		Kelapa sawit di atas tanah gambut
		Hutan tertutup di atas tanah mineral
		Hutan tertutup di atas tanah gambut
		Getah di atas tanah mineral
		Getah di atas tanah gambut
		Pertanian lain di atas tanah mineral
		Pertanian lain di atas tanah gambut
		Hutan terbuka di atas tanah mineral
		Hutan terbuka di atas tanah gambut
		Limbah hutan di atas tanah mineral
		Limbah hutan di atas tanah gambut
Bentuk Topografi	Kecerunan	0 - 10
		10 - 20
		20 - 30
		30 - 40
		> 40
	Arah Permukaan	Permukaan Rata
		Utara
		Timur Laut
		Timur
		Tenggara
		Selatan
		Barat Daya
		Barat
		Barat Laut
Faktor Manusia	Jarak dari Jalan Raya	0 - 200
		200 - 400
		400 - 600
		600 - 1000
		> 1000



RAJAH 3. Peta jenis bahan bakar bagi keseluruhan Negeri Selangor

digabungkan dengan peta jenis tanah yang menghasilkan dua kali ganda pengelasan jenis bahan bakar. Selain itu, peta jenis tanah yang digunakan adalah hasil pendigitan peta jenis tanah Jabatan Pertanian Malaysia yang berskala wilayah yang kemudian dijalankan proses persampelan semula kepada 30 m supaya ia mempunyai resolusi yang sama dengan pengelasan imej Landsat ETM 7. Ini turut mempengaruhi ketepatan pengelasan peta bahan bakar tersebut. Di samping itu, sebanyak 36 titik maklumat seperti nama stesen, guna tanah, jenis tanah, bahan bakar, huraian lokasi, latitud dan longitud telah dicerap bagi menilai ketepatan hasil pengelasan peta bahan bakar. Kawasan kajian yang meliputi seluruh Selangor adalah sangat luas dan nilai titik yang agak sedikit ini tidak dapat memberikan ketepatan pengelasan yang lebih tinggi.

Pangkalan data GIS dibangunkan bagi membantu proses menguruskan data GIS secara berkesan dan strategik. Terdapat 10 komponen utama yang mengandungi lapisan data GIS iaitu gunatanah, litupan tanah, jenis tanah, topografi, sistem pengangkutan, kepadatan penduduk, bahan bakar, jenis hutan, parameter cuaca, hidrologi dan pentadbiran serta sempadan yang dipilih untuk kajian ini.

Model matematik proses analisis hierarki (AHP) adalah kaedah yang menghasilkan nilai pemberat. Ia direka bentuk untuk mencerminkan bagaimana manusia berfikir. AHP juga merupakan suatu teknik yang sering diguna pakai dalam menganalisis masalah kompleks dengan melibatkan berbagai kriteria. Ia bersandarkan kepada tiga prinsip asas iaitu penyusunan kriteria di dalam struktur hierarki, perbandingan kepentingan antara kriteria serta pilihan keputusan dan sintesis kepentingan (Saaty 2003). Hanya satu penilaian pakar yang paling tekal (darjah ketekalan terendah) digunakan dalam AHP ini. Output AHP tersebut dapat dihubungkan serta diterjemahkan secara ruwang melalui pendekatan GIS. Setiap data raster didarabkan dengan nilai pemberat yang diperoleh daripada kaedah AHP, kemudian ditambah kesemua data raster yang terlibat bagi menjanakan output akhir. Pembentukan struktur AHP bermula dengan objektif yang perlu dicapai, kriteria dan sub-kriteria. Ini dapat digambarkan di dalam Rajah 4 yang menunjukkan struktur hierarki bagi potensi berlaku kebakaran hutan dan daratan.

Satu soal selidik telah dijalankan bagi mendapatkan penilaian pakar terhadap sesuatu kriteria yang mampu menjadi potensi berlakunya kebakaran hutan. Pakar penilaian setiap kriteria bagi mendapatkan potensi berlaku kebakaran hutan dan daratan yang dipilih adalah terdiri daripada 3 orang pegawai Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia dari Ibu Pejabat Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia, Putrajaya, Bomba dan Penyelamat Negeri Selangor, Shah Alam dan Balai Bomba Bukit Jelutong, Shah Alam.

Paparan utama WebGIS bagi kajian ini merangkumi peta potensi berlaku kebakaran hutan dan daratan, lapisan data sempadan pentadbiran negeri, daerah, perbandaran serta mukim di Selangor, guna tanah dan litupan tanah, jenis tanah, bahan bakar, suhu, taburan hujan, kelembapan relatif, model ketinggian digital (DEM), data kecerunan dan data arah permukaan, sistem sungai dan saliran, jalan raya, jenis hutan dan kepadatan penduduk.

HASIL DAN ANALISIS

Analisis terhadap kriteria dan sub-kriteria dijalankan bagi mendapatkan nilai penaksirannya. Sub-kriteria bagi jenis bahan bakar, diperoleh nilai penaksirannya melalui proses kalibrasi dengan titik panas bagi tahun 2005, 2004 dan 2003. Manakala, nilai penaksiran sub-kriteria bentuk topografi dan faktor manusia diperoleh berdasarkan kajian oleh Castro dan Chuveico (1998), Chuveico dan Congalton (1989), Darmawan (2002), Finney (1998) dan Mattsson et al. (2004). Nilai penaksiran yang tertinggi adalah 5 dan yang paling rendah adalah 0. Jadual 1 menunjukkan sub-kriteria serta nilai penaksirannya.

Berdasarkan kalibrasi jenis bahan bakar dengan titik panas sepanjang tahun 2005, 2004 dan 2003, bahan bakar rumput-rumputan mempunyai nilai penaksiran tertinggi kerana kekerapan titik panas yang tinggi berada di dalam pengelasan bahan bakar ini. Bahan bakar ini juga cepat kering dan mempunyai sifat mudah terbakar yang tinggi. Di samping kemampuannya merebakkan api secara pantas dengan bantuan angin yang sederhana, kebakaran yang berlaku pada rumput-rumputan ini juga amat sukar dipadam serta dikawal. Rumput-rumputan di atas tanah



RAJAH 4. Penyusunan kriteria di dalam struktur hierarki bagi potensi berlaku kebakaran hutan

gambut diberikan nilai penaksiran 5 berbanding rumput-rumputan di atas tanah mineral, disebabkan sifat tanah gambut yang terdiri daripada tanah organik yang mudah kering dan terbakar serta menghasilkan asap yang tebal.

Bentuk topografi, kelajuan angin, arah angin serta penerimaan jumlah pancaran matahari mempengaruhi kebakaran hutan dan daratan. Sub-kriteria bagi bentuk topografi adalah kecerunan dan arah permukaan. Kedua-dua sub-kriteria ini dijanakan melalui model ketinggian berdigit (DEM). Berdasarkan kajian Finney (1998), kemerebakan api adalah lebih cepat apabila darjah kecerunan bertambah. Kadar api merebak bertambah dua kali ganda setiap pertambahan 10 darjah kecerunan (McArthur 1962), manakala kadar kemerebakan api bertambah dua kali ganda setiap 15 darjah kecerunan hingga 30 darjah kecerunan dan setiap 10 darjah selepas itu (Chandler 1963).

Arah permukaan berkaitan dengan jumlah pancaran matahari yang diterima bagi sesuatu permukaan pada arah yang tertentu. Sub-kriteria arah permukaan juga merupakan arah kepada permukaan cerun. Arah permukaan timur menerima jumlah pancaran matahari lebih awal berbanding arah permukaan barat, yang menerima pancaran matahari pada waktu petang. Arah permukaan timur juga menerima lebih pancaran matahari sepanjang hari serta tumbuhan lebih cepat kering apabila berada di arah permukaan ini (Chuvieco & Congalton 1989). Bagi kawasan hemisfera utara, arah permukaan selatan merupakan arah permukaan yang paling banyak menerima pancaran matahari berbanding arah permukaan lain (Mattsson & Thorein 2004). Lantaran itu, arah permukaan selatan diberikan nilai penaksiran yang tertinggi bagi sub-kriteria arah permukaan.

Faktor manusia tidak dapat lari daripada berlakunya kebakaran hutan dan daratan. Sub-kriteria yang digunakan bagi faktor manusia adalah jarak dari jalan raya. Kajian Nor Ghani et al. (2000) mendapati jaringan jalan raya dan ketersampaian menyebabkan pertambahan kebarangkalian bagi kawasan hutan untuk diperbersihkan dengan tujuan kepelbagaian guna. Jaringan jalan raya yang memudahkan perhubungan serta berdekatan dengan potensi bahan bakar seperti rumput-rumputan, limbah hutan, hutan terbuka dan kawasan tanah gambut mampu untuk menjadi faktor berlaku kebakaran hutan dan daratan. Nilai tertinggi penaksiran sub-kriteria ini diberikan kepada julat jarak jalan raya yang terdekat dengan potensi bahan bakar. Julat jarak yang terdekat adalah antara 0 m dan 200 m diberikan nilai tertinggi manakala julat jarak yang lebih daripada 1000 m diberikan nilai terendah.

Berdasarkan ketiga-tiga penilaian perbandingan antara kriteria yang telah diberikan oleh pegawai Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia, jelas menunjukkan penilaian mereka amat rasional dan munasabah. Perkara ini dibuktikan melalui nisbah ketekalan yang rendah dengan ketiga-tiga ahli bomba memberikan nilai 0.018, 0.052 dan 0.052, iaitu kurang daripada darjah ketekalan 0.1 (Saaty 1977). Penilaian perbandingan antara kriteria dengan darjah konsistensi yang paling rendah digunakan sebagai penentu kepada penghasilan peta potensi berlaku kebakaran hutan dan daratan.

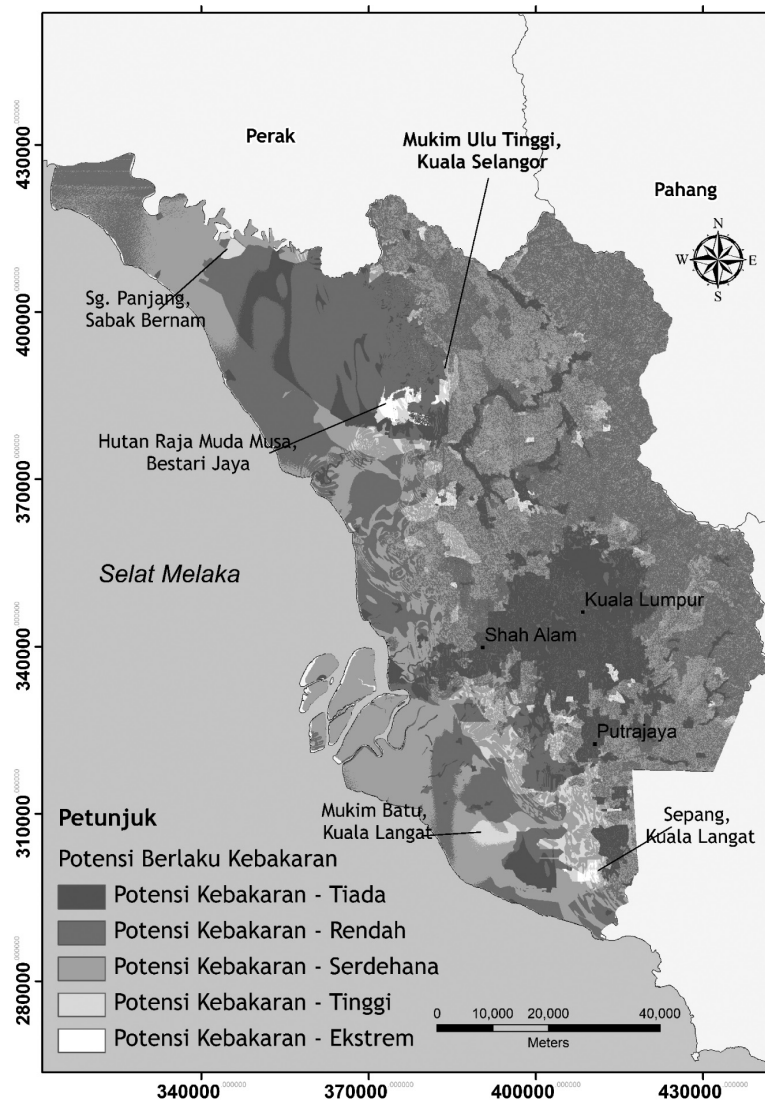
Peta potensi berlaku kebakaran hutan dihasilkan melalui pendaraban raster nilai penaksiran dan nilai pemberat, diikuti dengan penjumlahan kesemua data raster yang terlibat iaitu bahan bakar, kecerunan, arah permukaan dan jarak dari jalan raya (Rajah 5). Persamaan yang dihasilkan berdasarkan nilai penaksiran serta nilai pemberat relatif yang diperoleh adalah: Potensi berlaku kebakaran hutan = 0.4429 (Bahan bakar) + 0.1698 (Kecerunan) + 0.1698 (Arah permukaan) + 0.3873 (Jarak dari jalan raya) (Jadual 2).

Berdasarkan hasil analisis potensi berlaku kebakaran hutan, didapati bahawa seluas 32.83 km persegi daripada luas Negeri Selangor adalah kawasan yang ekstrem potensinya untuk berlaku kebakaran. Kawasan yang dikenal pasti adalah seperti di Bestari Jaya iaitu di Hutan Simpan Raja Muda Musa dan Agrotech, Mukim Ulu Tinggi serta Hutan Simpan Kuala Langat Utara dan Selatan. Jenis tanah yang meliputi kawasan ekstrem kepada kebakaran ini adalah tanah gambut. Kebakaran juga pernah beberapa kali berlaku di kawasan ini kerana sifat bahan bakar kawasan tersebut adalah mudah terbakar serta cepat kering yang terdiri daripada rumput-rumputan dan limbah hutan. Kawasan yang tinggi potensi untuk berlaku kebakaran adalah seluas 244.32 km persegi atau 3% daripada keluasan Selangor.

Kawasan yang berpotensi tinggi untuk berlaku kebakaran ini didorong oleh faktor bahan bakar yang hampir keseluruhannya adalah di atas tanah gambut. Di samping itu, faktor manusia iaitu ketersampaian jalan raya terhadap sesuatu bahan bakar merupakan pendorong kepada tingginya potensi berlaku kebakaran. Hal ini dapat dikenal pasti di beberapa lokasi seperti di Lebuhraya Elite, Bandar Saujana Putra, jalan raya di Bestari Jaya, Dengkil dan Sepang. Bentuk topografi tidak terlalu mempengaruhi potensi untuk berlaku kebakaran, namun terdapat juga beberapa kawasan yang dipengaruhi oleh bentuk topografi serta berpotensi tinggi untuk terbakar. Berdasarkan peta

JADUAL 2. Penilaian oleh ahli bomba terhadap perbandingan antara kriteria, nilai pemberat relatif serta nisbah konsistensi yang terhasil

Kriteria	Jenis Bahan Bakar	Bentuk Topografi	Faktor Manusia	Pemberat Relatif, (w_i)
Jenis Bahan Bakar	1	3	1	0.4429
Bentuk Topografi	1/3	1	1/2	0.1698
Faktor Manusia	1	2	1	0.3873
Nisbah Kosistensi = 0.0178				



RAJAH 5. Peta potensi berlaku kebakaran hutan bagi negeri Selangor

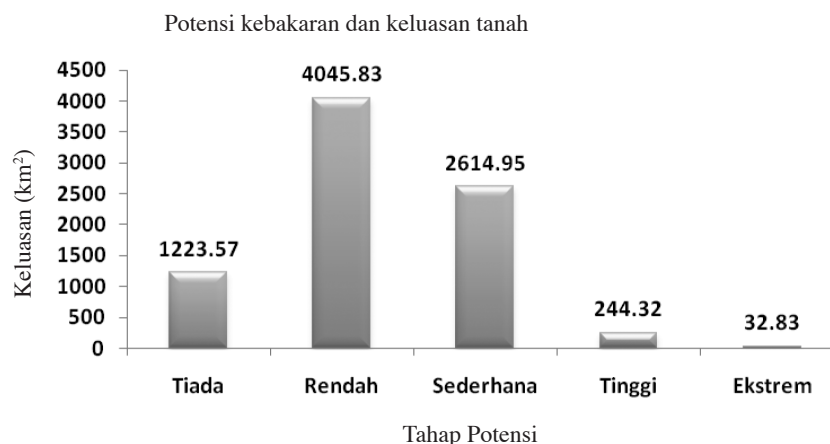
potensi berlaku kebakaran hutan, kawasan tersebut adalah di Batang Kali dan Ulu Yam. Hampir 65% daripada keseluruhan keluasan negeri Selangor tidak berpotensi serta rendah potensi untuk berlaku kebakaran hutan (Rajah 6). Kawasan ini dijamin selamat daripada kebakaran kerana faktor utama yang mempengaruhinya adalah terdiri daripada jenis bukan bahan bakar. Pengelasan tahap potensi dalam potensi berlaku kebakaran adalah daripada melampau kepada tiada berpotensi amat penting dalam kajian ini. Pengelasan ini berdasarkan nilai yang terendah hingga tertinggi dalam penjumlahan setiap raster yang mewakili kriteria dan sub-kriteria yang terlibat.

Inovasi terhadap peta potensi berlaku kebakaran hutan bagi negeri Selangor ini dilaksanakan dengan memuatkannya di dalam aplikasi WebGIS. WebGIS ini dilengkapi dengan maklumat ruang seperti peta sempadan pentadbiran, bahan bakar, guna tanah, jenis tanah serta lain-lain data ruang yang tersimpan di dalam pengkalan data GIS yang telah dibina. Ia juga turut dilengkapi dengan ciri-ciri analisis GIS yang tersedia ada seperti penampunan, pertanyaan ruang dan pengukuran jarak. Kelengkapan

atau kemudahan ini dapat membantu pengurus operasi atau pengguna membuat keputusan dengan jitu dan tepat, hampir menyamai situasi sebenar. Sebagai contoh, pengurus operasi dapat bertindak berdasarkan keputusan yang dibantu oleh kemudahan yang terkandung di dalam WebGIS ini seperti penindanan antara titik panas dan peta potensi berlaku kebakaran, mengukur jarak sumber air terdekat dengan titik panas, penampunan jarak kemampuan kemerebakan api serta mengetahui kawasan persempadanan yang terlibat.

KESIMPULAN

Hasil kajian di negeri Selangor mendapati bahawa gabungan pertanian yang dibakar pada tanah gambut, bentuk topografi yang curam serta faktor manusia menyumbang kepada kebakaran, terutama dalam keadaan kering semula jadi. Terdapat 2615 km persegi tanah yang dikenal pasti mempunyai potensi sederhana untuk terbakar, berbanding 244 km persegi yang mempunyai potensi tinggi dan 33 km persegi tanah yang berpotensi kebakaran yang ekstrem.



RAJAH 6. Rajah potensi berlaku kebakaran bagi tahap potensi lawan keluasan

Kajian ini telah memperlihatkan perkembangan teknologi georuang dan WebGIS dalam membantu pihak pengurusan serta pengendali bencana menghadapi ancaman kebakaran hutan. Selaras dengan perkembangan tersebut, teknologi tersebut telah digunakan dalam mengumpul, menilai dan menyebarkan data serta maklumat yang penting bagi pengendalian kebakaran hutan dari segi pemantauan, pengesanan, penguatkuasaan, pemadaman dan pencegahan.

RUJUKAN

- Castro, R. & Chuveico, E. 1998. Modeling forest fire danger from Geographic Information Systems. *Geocarto International* 13(1): 15-23.
- Chandler, C.C. 1963. *A Study of Mass Fires and Conflagrations*. Research Note 22. California: USDA Forest Service.
- Chuvieco, E. & Congalton, R.G. 1989. Application of remote sensing and Geographic Information Systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of Environment* 29: 147-159.
- Darmawan, 2002. *Forest Fire Hazard Model using Remote Sensing and GIS Towards Understanding of Land and Forest Degradation in Lowland Areas of East Kalimantan*. 22nd ACRS.
- Finney, M.A. 1998. *FARSITE: Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation*. Washington: USDA Forest Service.
- Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia. 2005. *Maklumat Kebakaran Hutan dan Daratan Sehingga 7 Mac 2005*. Putrajaya: Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia.
- Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia. 2001. *Forestry Statistics 2000*.
- Mahmud, M. 2005. Active fire and hotspot emissions in Peninsular Malaysia during 2002. *Geografia Malaysian Journal of Society and Space* 1(1): 32-45.
- Mahmud, M. 2007. Multiple satellite detection of hotspots in Peninsular Malaysia during February and March of 2002. *Pertanika Journal of Tropical Agriculture Science* 30(1): 19-32.
- Mahmud, M. 2009a. Simulation of equatorial wind field patterns with TAPM during the 1997 haze episode in Peninsular Malaysia. *Singapore Journal of Tropical Geography* 30: 312-326.
- Mahmud, M. 2009b. Mesoscale model simulation of low level equatorial winds over Borneo during the haze episode of September 1997. *Journal of Earth System Science* 118: 295-307.
- Mattsson, D. & Thorén, F. 2004 Wildland/urban interface fire risk model. Tesis B. Sc. Programme for GIS Engineering. Lulea University of Technology, Sweden (tidak diterbitkan).
- McArthur, A.G. 1962. Control burning in eucalypt forests. *Australian Forestry and Timber Bureau Leaflet*.
- Nor Ghani, M.N., Sharifah Mastura, S.A., Asmah, A. & Khalil, M.D. 2000. Transport accessibility and deforestation: Empirical evidence from the Klang Langat watershed study. *Proceeding of the Forth International Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS)*.
- Saaty, T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15: 234-281.
- Saaty, T.L. 2003. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research* 145: 85-91.
- Pusat Pencerapan Bumi
Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
Malaysia
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: mastura@ukm.my
- Diserahkan: 27 Februari 2012
Diterima: 20 Oktober 2012